

PENGARUH PROSENTASE LUASAN DEEP CEMENT MIXING (DCM) TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH LUNAK

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Adiwena Bachtiar Suwandoko

NIM. 175060101111007

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH PROSENTASE LUASAN DEEP CEMENT MIXING (DCM)
TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH LUNAK

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADIWENA BACHTIAR SUWANDOKO

NIM. 175060101111007

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 16 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT

NIP. 19680707 199403 2 002

Dosen Pembimbing II

Dr. rer.nat. Ir. Arief Rachmansyah

NIP. 19660420 199303 1 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH PROSENTASE LUASAN *DEEP CEMENT MIXING* (DCM) TERHADAP
DAYA DUKUNG TANAH LUNAK

Nama Mahasiswa : Adiweni Bachtiar Suwandoko

NIM : 175060101111007

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT

Dosen Penguji II : Dr.rer.nat. Ir. Arief Rachmansyah

Dosen Penguji III : Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D

Tanggal Ujian : 8 Juli 2021

SK Penguji : 1115/UN.10.F07/PP/2021

PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Juni 2021

Adiwena Bachtiar Suwandoko

175060101111007



RIWAYAT HIDUP

Adiwen Bahtiar Suwandoko. Lahir di Lamongan, 10 Juni 1999. Anak dari Bapak Alm. Agus Suwandoko dan ibu Durotul Mu'azizah. Lulus Sekolah Dasar di SDN Sidoharjo I Lamongan pada tahun 2011. Kemudian lulus SMP di SMP Negeri 1 Lamongan pada tahun 2014. Selanjutnya lulus SMA di SMA Negeri 3 Lamongan pada tahun 2017. Dan melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan lulus tahun 2021.

Selama di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, penulis pernah mengikuti organisasi dan kepanitiaan. Adapun organisasi yang pernah diikuti yaitu Himpunan Mahasiswa Sipil tahun periode 2018-2019 dan 2019-2020 di departemen Akademis, periode 2020-2021 pada Departemen Amara di Divisi Kompetisi. Kepanitiaan yang pernah diikuti oleh penulis yaitu sebagai Panitia ASIABRICOM tahun 2019 sebagai Anggota Divisi Kompetisi, Simposium FSTPT Tahun 2018 di Malang sebagai anggota bidang acara, kemudian PROBINMABA tahun 2019 sebagai panitia Inti, serta Kuliah Tamu "*Civil Engineering to Aerospace Engineering*" tahun 2018 sebagai Ketua Pelaksana. Penulis Juga pernah menjadi Asisten Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2019-2021.

Malang, 22 Juni 2021

Penulis

Bekerja keraslah, sampai mereka yang dulu menghina dan meremehkanmu
mimpimu, Searching kamu di Google - UAS



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena dengan berkat, rahmat, dan hidayah-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH PROSENTASE LUASAN DEEP CEMENT MIXING (DCM) TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH LUNAK”** dengan lancar, tepat waktu, dan tanpa halangan yang berarti.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar **Sarjana Teknik** pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak.

Oleh karenanya penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Dr. Eng Alwafi Pujiraharjo., ST, MT.** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak **Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Ibu **Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT** selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak **Dr.rer.nat. Ir. Arief Rachmansyah** selaku Dosen Pembimbing II
5. Bapak **Dr. Ir. Wisnumurti, MT.** Selaku Dosen Pembimbing Akademik
6. Bapak **Dr. Ir. Harimurti, MT** Selaku Ketua KKJF Geoteknik
7. **Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya** yang telah mengajari dan membimbing penulis selama perkuliahan ini.
8. **Bapak Alm. Agus Suwandoko dan Ibu Durotul Mu’azizah** selaku orang tua kandung penulis yang telah membimbing dan selalu menginspirasi penulis bisa mencapai titik ini, terutama Ibu penulis yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis.
9. **Rizky Utomo Suwandoko dan Ananda Tyas Suwandoko** Selaku adik penulis yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
10. **Kelompok Penelitian DCM (M. Ainur R., Hira Asyifa, M. Hasbianto, Solapida G.S)** teman seperjuangan skripsi ini.
11. **Teman-teman Teknik Sipil UB Angkatan 2017** yang selalu menemani dari awal sampai akhir berproses di jurusan tercinta ini
12. **Teman Ngopi Kopi Kampoeng dan Cakril** yang selalu menemani penulis mengerjakan skripsi ini

RINGKASAN

Adiwena Bachtiar Suwandoko, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 23 Juni 2021. *Pengaruh Prosentase Luasan Deep Cement Mixing (DCM) Terhadap Daya Dukung Tanah Lunak*, Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT dan Dr.rer.nat. Ir. Arief Rachmansyah.

Tanah merupakan dasar dan juga merupakan bagian terpenting dari suatu konstruksi. Dalam suatu konstruksi, bangunan yang baik dibangun di atas tanah yang memiliki daya dukung yang stabil agar bangunan di atasnya tidak mengalami keruntuhan. Untuk menghindari kegagalan suatu konstruksi di atasnya, maka dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah tersebut. Perbaikan yang akan dilakukan yaitu dengan *Deep Soil Mixing* (DSM) dengan campuran semen, perbaikan ini dilakukan untuk sampai kedalaman 30 meter.

Pada penelitian ini, metode yang akan digunakan yaitu *Deep Cement Mixing* (DCM) menggunakan campuran semen sebagai bahan aditif, jenis semen yang digunakan pada percobaan ini jenis PCC. penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan box berukuran 50x50 cm, tanah dalam keadaan *slurry* dengan prosentase kadar air sekitar 95%, dan benda uji perbaikan memiliki diameter 6 inch, tinggi 30 cm. Terdapat 4 kali percobaan dimana dengan prosentase perbaikan 7,29%, 15,6%, 21,9%, dan 29,2%. Untuk membuat benda uji, tanah terlebih dahulu dihancurkan hingga menjadi butiran kecil, kemudian dicampur dengan semen dan dicetak kedalam pipa berukuran 6 inch. Setelah itu akan dilakukan *curing* selama 3 hari didalam cetakan, dan 4 hari didalam box dengan tanah asli. Kemudian dilakukan uji pembebanan secara vertikal dengan bantuan alat pompa hidrolik, dimana pembebanan akan dihentikan ketika nilai beban yang diberikan tidak naik dan sampel masih mengalami penurunan.

Dari percobaan tersebut didapatkan hasil bahwa perubahan penurunan yang terjadi setiap kenaikan prosentase perbaikan mengalami peningkatan kekuatan tanah dimana saat perbaikan dengan prosentase 7,29% saat tegangan 0,18 Kg/cm² mengalami penurunan sebesar 40,47mm, sedangkan dengan prosentase perbaikan 29,2% saat tegangan 0,18 Kg/cm² mengalami penurunan sebesar 16,93 mm, dan daya dukung tanah setiap prosentase perbaikan mengalami peningkatan BCI dimana nilai BCI saat prosentase perbaikan 7,29% adalah 0, sedangkan nilai BCI pada prosentase perbaikan 29,2% adalah 154%. Dapat disimpulkan bahwa perbaikan yang dilakukan cukup efektif untuk meningkatkan daya dukung tanah.

Kata kunci : *Deep Cement Mixing*, semen, daya dukung tanah, penurunan, BCI.

SUMMARY

Adiweni Bachtiar Suwandoko, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 23, 2021. Effect of Treated Area Ratio of Deep Cement Mixing (DCM) to Composite Soft Soil Bearing Capacity, Advisor Lecturer: Dr. eng. Yulvi Zaika, MT and Dr.rer.nat. Ir. Arief Rahmansyah.

Soil is the basis and also the most important part of a construction. In a construction, a good building is built on land that has a stable bearing capacity so that the building above it does not collapse. To avoid the failure of a construction on it, soil improvement is carried out to increase the carrying capacity of the soil. Improvements to be made are Deep Soil Mixing (DSM) with a mixture of cement, this improvement is carried out to a depth of 30 meters.

In this study, the method that will be used is Deep Cement Mixing (DCM) using a mixture of cement as an additive, the type of cement used in this experiment is PCC. The research was conducted on a laboratory scale with a box measuring 50x50 cm, the soil was in a slurry state with a percentage of water content of about 95%, and the repair specimen had a diameter of 6 inches, height 30 cm. There were 4 trials where the percentage improvement was 7.29%, 15.6%, 21.9%, and 29.2%. To make the test object, the soil is first crushed into small grains, then mixed with cement and molded into a 6 inch pipe. After that, curing will be carried out for 3 days in the mold, and 4 days in a box with original soil. Then a vertical loading test is carried out by hydraulic pump until the load value constant and the sample is deformed.

From these experiments, it was found that the change in settlement that occurred for every increase in the percentage of improvement experienced an increase in soil strength where at the time of repair with a percentage of 7.29% when the stress was 0.18 Kg/cm² decreased by 40.47mm, while the percentage of improvement was 29.2%. when the stress was 0.18 Kg/cm² decreased by 16.93 Kg/cm², and the carrying capacity of the soil for each percentage improvement experienced an increase in BCI where the BCI value at the percentage improvement was 7.29% 0, while the BCI value at the percentage improvement was 29.2 % is 154%. It can be concluded that the improvements made are quite effective in increasing the bearing capacity of the soil.

Keywords : Deep Cement Mixing, cement, soil bearing capacity, settlement, BCI.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
RINGKASAN	ii
SUMMARY.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	3
2.1 Tanah.....	3
2.2 Tanah Lunak.....	3
2.3 Semen.....	6
2.3.1 Jenis Semen.....	7
A. Semen <i>Portland</i> Tipe I.....	7
B. Semen <i>Portland</i> Tipe II.....	7
C. Semen <i>Portland</i> Tipe III.....	7
D. Semen <i>Portland</i> Tipe IV.....	7
E. Semen <i>Portland</i> Tipe V.....	7
F. <i>Portland Composite Cement</i> (PCC).....	8
G. <i>Super Pozzolan Composite Cement</i> (PPC).....	8
2.3.2 Faktor Air Semen (FAS).....	8
2.4 Stabilitas Tanah.....	8

2.4.1 Stabilitas Kimia.....	9
A. Stabilitas Tanah Dengan Semen.....	9
B. <i>Deep Soil Mixing</i> (DSM).....	10
2.4.2 Stabilitas Mekanis.....	12
2.5 Uji Pembebanan	12
2.6 Daya Dukung Tanah.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Tahap Persiapan	15
3.3 Pengumpulan Data	15
3.4 Rancangan Penelitian	16
3.5 Uji Pembebanan	17
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Analisis Daya Dukung Tanah Asli.....	21
4.2 Analisis Daya Dukung Tanah Perbaikan.....	21
4.2.1 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 7,29%.....	23
4.2.2 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 15,6%.....	25
4.2.3 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 21,9%.....	27
4.2.4 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 29,2%.....	29
4.3 Analisis Prosentase Perbaikan dan Tegangan serta <i>Bearing Capacity Improvement</i> (BCI)	31
4.4 Analisis Hubungan Tegangan dan Regangan & Penurunan dan Tegangan.....	32
BAB V PENUTUP.....	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36

-HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN-



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Identifikasi Tanah Berbutir Halus.....	8
Tabel 2.2 Hasil Pengujian CBR Laboratorium.....	13
Tabel 3.1 Data Karakteristik Tanah.....	17
Tabel 4.1 Perbandingan Prosentase perbaikan dan qu.....	23
Tabel 4.2 Hasil pengujian prosentase perbaikan 7,29%.....	25
Tabel 4.3 Hasil pengujian prosentase perbaikan 15,6%.....	26
Tabel 4.4 Hasil pengujian prosentase perbaikan 21,9%.....	28
Tabel 4.5 Hasil pengujian prosentase perbaikan 29,2%.....	30
Tabel 4.6 Perbandingan antara Prosentase Perbaikan, tegangan, dan daya dukung tanah.....	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Jawa Timur	3
Gambar 2. 2 Struktur Kaolinite	4
Gambar 2. 3 Struktur Illite	5
Gambar 2. 4 Struktur Monmorillonite	5
Gambar 2. 5 Stabilisasi dengan Bahan Aditif	9
Gambar 2. 6 Pola penempatan kolom Perbaikan dengan metode DCM	10
Gambar 2. 7 Daya dukung tanah untuk kondisi pondasi dangkal (a), Grafik hubungan antara beban dan penurunan (b).	13
Gambar 3. 1 skema benda uji	16
Gambar 3. 2 Alat Uji Pembebanan	17
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian	19
Gambar 4. 1(a) Sebelum Pembebanan (b) Setelah Pembebanan.	22
Gambar 4. 2 Hubungan q_u dan Prosentase perbaikan	23
Gambar 4. 3 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 7,29%	24
Gambar 4. 4 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 7,29%	24
Gambar 4. 5 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 15,6%	25
Gambar 4. 6 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 15,6%	26
Gambar 4. 7 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 21,9%	27
Gambar 4. 8 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 21,9%	28
Gambar 4. 9 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 29,2%	29
Gambar 4. 10 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 29,2% ...	30

Gambar 4. 11 Hubungan Prosentase Perbaikan dan Tegangan Maksimum Tiap Prosentase Perbaikan.....	31
Gambar 4. 12 Hubungan Tegangan dan Regangan.....	31
Gambar 4. 13 Hubungan Penurunan dan Tegangan.....	32



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Data Hasil Pengujian Pembebanan.....	39
Lampiran II	Dokumentasi Penelitian.....	49

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan dasar dan juga merupakan bagian terpenting dari suatu konstruksi. Dalam suatu konstruksi, bangunan yang baik dibangun di atas tanah yang memiliki daya dukung yang stabil agar bangunan di atasnya tidak mengalami keruntuhan.

Untuk menghindari kegagalan suatu konstruksi di atasnya, maka dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah tersebut. Perbaikan yang akan dilakukan yaitu dengan *Deep Soil Mixing* (DSM) dengan campuran semen, perbaikan ini dilakukan untuk sampai kedalaman 30 meter.

Dalam penelitian ini tanah yang akan diteliti memiliki daya dukung yang rendah, memiliki penurunan yang tinggi, oleh karena itu dibutuhkan perbaikan tanah untuk memperbaiki karakteristik / sifat pada tanah agar memiliki daya dukung atau kekuatan yang lebih baik dari sebelumnya, yaitu dengan cara stabilisasi. Dengan cara tersebut dapat mencampurkan bahan tambahan seperti semen, karena semen memiliki kekuatan untuk meningkatkan daya dukung tanah. Adapun penelitian sebelumnya tentang perbaikan tanah dengan campuran semen dengan metode uji sondir yang hasilnya semakin tinggi kadar semen maka semakin tinggi nilai daya dukung tanahnya. (Wibowo et al., 2017) dan juga penelitian tentang perbaikan tanah lunak dengan semen terhadap nilai CBR dari (Ainul Mustafid, 2018) menyimpulkan semakin besar volume perbaikan maka semakin besar pula nilai CBR nya.

Perbaikan tanah dengan semen ini hanya dapat dilakukan di permukaan, perbaikan dengan metode ini dapat mereduksi besaran penurunan pada tanah yang diperbaiki, dan meningkatkan daya dukung tanah disekitar (Umar et al., 2017)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dipaparkan sebelumnya, didapatkan rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana Perubahan penurunan tanah yang terjadi apabila di stabilisasi menggunakan Metode DCM dengan variasi volume?
2. Bagaimana Perubahan Daya dukung tanah yang terjadi apabila di stabilisasi menggunakan Metode DCM dengan variasi volume?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini antara lain :

1. Tidak membahas ekonomi dan reaksi kimia

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Menganalisis Perubahan penurunan tanah yang terjadi apabila distabilisasi menggunakan Metode DCM dengan variasi volume.
2. Menganalisis Perubahan Daya dukung tanah yang terjadi apabila di stabilisasi menggunakan Metode DCM dengan variasi volume.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk para akademisi , penelitian ini sangat berguna sebagai sumber informasi dalam melakukan penelitian lebih dalam lagi perihal perbaikan tanah lunak dengan metode DCM.
2. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber informasi dalam melakukan perbaikan tanah khususnya Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo daerah Kabupaten Pasuruan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah merupakan lapisan yang ada di permukaan bumi berasal dari material yang terdiri atas mineral – mineral padat dan juga dari bahan organik yang lapuk serta mengalami proses pemadatan. Tanah memiliki berbagai jenis yang bisa dibedakan dari struktur, warna, serta komposisinya yang berasal dari hasil pelapukan, secara umum ada 4 jenis berdasarkan partikel diantaranya yaitu lempung, kerikil, pasir, dan lanau.

2.2 Tanah Lunak



Gambar 2. 1 Peta Persebaran Tanah Lunak dan Tanah Ekspansif Jawa Timur, Indonesia

Sumber : Zaika (2019).

Tanah lunak bisa didefinisikan sebagai tanah yang kohesif dan komponen penyusunnya butiran-butiran halus seperti lanau dan lempung. Di dunia konstruksi sering menyebabkan masalah dikarenakan tanah ini memiliki daya dukung yang rendah, hal ini

menyebabkan bengkaknya biaya suatu konstruksi untuk memperbaiki tanah ini agar memiliki daya dukung tanah yang sesuai untuk mendirikan bangunan diatasnya.

Komponen tanah lunak terdiri dari butiran halus seperti kristal kuarsa, silika, oksigen , aluminium. Unsur-unsur tersebut merupakan paling banyak sebagai penyusun kerak bumi. untuk ukuran partikel tanah lunak seperti tanah lanau memiliki ukuran partikel antara 0,002 mm – 0,063 mm, sedangkan ukuran butiran tanah lempung dibawah tanah lanau. Untuk mineral pembentuk lempung terdiri dari kaolinite, illite, montmorillonite.

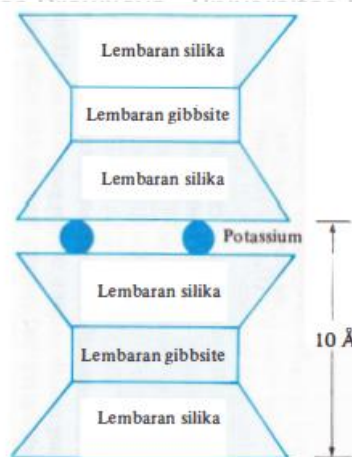
Kaolinite merupakan tumpukan lapisan kombinasi antara silika tetrahedral dan alumina oktahedran, tiap lapisan memiliki tebal 7,2 Å. Mineral ini memiliki diameter 10.000 Å – 20.000 Å serta tebal 100 Å sampai 1000 Å.



Gambar 2. 2 Struktur Kaolinite

Sumber : Das (1995)

Illite merupakan mineral yang terdiri dari dua lembar silika dan selembaar gibbsite. Partikel illite memiliki dimensi 1000 Å – 5000 Å dengan tebal 50 Å – 500 Å.



Gambar 2. 3 Struktur Illite

Sumber : Das (1995)

Monmorillonite memiliki kesamaan struktur dengan illite, pada mineral montmorillonite terjadi substitusi isomorph pada atom-atom magnesium dan besi menggantikan sebagai atom-atom ion kalium seperti pada mineral illite. Partikel ini memiliki dimensi 1000 Å – 5000 Å serta dengan ketebalan 10 Å sampai 50 Å.



Gambar 2. 4 Struktur Monmorillonite

Sumber : Das (1995)

Tanah lunak memiliki beberapa ciri atau karakteristik yang dapat kita ketahui diantaranya yaitu memiliki kuat geser yang rendah, memiliki kompresibilitas tinggi, tingkat

permeabilitas rendah, jika terkena air bersifat plastis. Tanah lunak ini bisa diketahui dengan melakukan percobaan Atterberg Limit, Analisa ayakan, SPT, dll.

Untuk mendeteksi tanah lunak ada beberapa cara seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.1

Identifikasi Tanah Berbutir Halus

Konsistensi	Prosedur Identifikasi	Kekuatan (Kg/cm ²)
Lunak	Mudah ditekan beberapa cm dengan ibu jari	<0,25
Sedang	Dapat ditekan beberapa cm dengan ibu jari dengan sedikit tenaga	0,25-0,5
Kaku	Dapat ditekan beberapa cm dengan ibu jari dengan banyak tenaga	0,5-1
Sangat kaku	mudah ditekan dengan kuku ibu jari	1,0-2,0
Keras	sukar ditekan dengan ibu jari	>2,0

Dengan cara-cara tersebut kita bisa mengetahui secara fisik bagaimana jenis tanah lunak.

2.3 Semen

Semen adalah bahan yang memiliki sifat kohesif dan adhesif sehingga memiliki kekuatan untuk mengikat. biasanya dipakai untuk membuat beton, bahan baku semen yaitu mengandung oksida kalsium, alumina, silika, serta besi. Komposisi kimia yang terdapat pada semen umumnya yaitu CaO , SiO_2 , Al_2O_3 . semen memiliki sifat fisik seperti berbutir halus yang lolos ayakan 2 μm , memiliki berat jenis 3 – 3,15 gr/cm³, selain itu semen apabila bereaksi dengan air akan menyebabkan hidrasi, maka dari itu penggunaan semen portland ini sangat baik untuk stabilisasi tanah.

2.3.1 Jenis Semen

Semen memiliki beberapa jenis sesuai dengan kegunaannya, biasanya digunakan untuk membangun rumah, gedung, dll, tetapi pada bangunan khusus dibutuhkan semen yang berbeda tipe, berikut adalah jenis – jenis semen berdasarkan fungsinya :

A. Semen Portland Tipe I

Semen ini sangat umum digunakan oleh masyarakat, semen ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan pada umumnya , semen ini tidak perlu kekuatan tekan awal ataupun hidrasi panas, dan tipe semen ini sangat cocok digunakan pada pembangunan di kawasan yang jauh dari pantai serta kadar sulfat yang rendah.

B. Semen Portland Tipe II

Semen tipe II ini biasanya digunakan pada konstruksi dipinggir laut, dermaga, saluran irigasi, rawa, waduk, bendungan, atau bisa disebut bangunan air. Semen ini sangat tahan dengan asam sulfat, memiliki sifat hidrasi sedang.

C. Semen Portland Tipe III

Semen tipe III ini berbeda halnya dengan semen tipe I , jenis ini memiliki daya tekan awal tinggi , biasa digunakan untuk bangunan tingkat tinggi, perkerasan jalan, bandar udara dan bangunan air yang tidak memerlukan ketahanan sulfat.

D. Semen Portland Tipe IV

Semen ini digunakan untuk hidrasi panas yang relatif rendah, biasanya semen ini digunakan untuk lapangan udara dan dam.

E. Semen Portland Tipe V

Semen tipe ini hampir sama dengan semen *Portland* tipe II tetapi yang membedakan yaitu semen tipe ini memerlukan tingkat asam sulfat yang tinggi,

biasanya digunakan untuk konstruksi bendungan, pembangkit tenaga nuklir, pelabuhan, dll.

F. *Portland Composite Cement (PCC)*

Semen ini merupakan semen yang bahannya terdiri dari campuran terak, gypsum, dan bahan anorganik, semen ini mudah dikerjakan, tahan sulfat, kedap air, dan tidak mudah retak, biasanya digunakan untuk beton pra cetak, beton pra tekan, pasangan batu bata, dll.

G. *Super Pozzolan Composite Cement (PPC)*

Semen ini merupakan semen pengikat hidrolis seperti semen PCC, bahan dasar semen ini terdiri dari terak, gypsum, dan pozzolan, semen ini biasanya digunakan pada konstruksi tepi pantai, atau rawa, semen ini memiliki ketahanan terhadap sulfat yang sedang.

2.3.2 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen yaitu banyaknya perbandingan berat air dengan berat semen dalam suatu campuran. Faktor air semen yang rendah akan menyebabkan *workability* semakin besar, jarak antar partikel semakin dekat, memiliki kekuatan tekan tinggi.

Apabila faktor air semennya terlalu besar maka *workability*nya semakin kecil, tetapi memengaruhi ke kekuatan tekan.

2.4 Stabilitas Tanah

Stabilitas tanah akan dilakukan apabila tanah di lapangan masih belum memenuhi syarat atau bermasalah, metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki tanah yaitu stabilisasi tanah.

Stabilisasi tanah ini bertujuan untuk memperbaiki sifat tanah dan meningkatkan kekuatan dan ketahanan tanah (Sherwood, 1993). Untuk melihat tanah tersebut stabil atau tidak bisa diukur dan dilihat dari sifat tanah, daya dukung tanah, permeabilitas, kembang susut tanah. (Hardiyatmo, 2010).

2.4.1 Stabilitas Kimia

Metode stabilitas kimia menggunakan rekasi kimia menghasilkan senyawa baru yang dapat memperkuat struktur molekul tanah serta karakteristik tanah, pada jaman dahulu, stabilitas tanah dilakukan dengan menambahkan kalsium dan batu kapur, semakin berjalannya waktu, stabilitas tanah dilakukan dengan berbagai macam zat aditif.

Tipe tanah		Lempung halus	Lempung kasar	Lanau halus	Lanau kasar	Pasir halus	Pasir kasar
Ukuran butiran tanah (mm)		<0,0006	0,0006 - 0,002	0,002 - 0,01	0,01 - 0,06	0,06 - 0,40	0,4 - 2,0
Stabilisasi volume tanah		Sangat buruk	Sedang	Sedang	Baik	Sangat baik	Sangat baik
Tipe stabilisasi	Kapur	Efisiensi maksimum					
	Semen	Efektif, tapi pengendalian mutu sulit					
	Polimerik - organik					Efisiensi maksimum	
	Mekanis		Efektif, tapi pengendalian mutu sulit				
	Termal	Efisiensi maksimum					
		Efisiensi maksimum = Efisiensi maksimum Efektif, tapi pengendalian mutu sulit = Efektif, tapi pengendalian mutu sulit					

Gambar 2. 5 Stabilisasi dengan Bahan Aditif

Sumber : Hardiyatmo (2010)

Bahan – bahan pada gambar 2.1 merupakan stabilisator, dimana bahan tersebut bereaksi baik dengan tanah dan dipilih sesuai ukuran butiran tanah.

A. Stabilitas Tanah Dengan Semen

Stabilitas tanah dengan semen yaitu mencampurkan tanah dengan semen yang telah ditentukan kadar semennya dan dicampur dengan air kemudian dipadatkan sehingga didapatkan tanah dengan senyawa baru yang lebih kuat dari tanah yang aslinya.

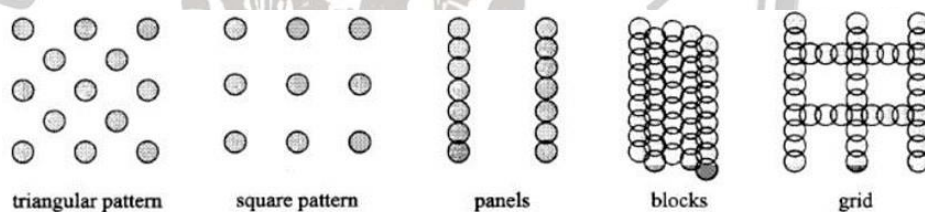
Reaksi semen portland dengan tanah pada ion hidrogen, sodium dan kalsium, reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan yaitu hidrasi dari $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ sehingga membentuk kalsium silikat dan kalsium aluminat yang menjadikan tanah semakin kuat.

Reaksi pozzolan melekat pada permukaan butiran lempung, sehingga partikel – partikel lempung menggumpal sehingga tanah lebih konsisten serta dengan zat aditif semen ini juga meningkatkan nilai q_u tanah. (Razali, 2016)

B. *Deep Soil Mixing (DSM)*

Metode *deep soil mixing* ini merupakan metode perbaikan tanah langsung pada tempatnya, metode ini menggunakan semen, *fly ash*, kapur, atau zat kimia lainnya sebagai zat aditifnya yang dicampurkan ke tanah. Proses ini bisa dilakukan secara kering maupun basah, tujuan dari DSM ini untuk mengurangi penurunan pada tanah dan meningkatkan daya dukung tanah.

Kolom Perbaikan dengan metode DSM ini dapat dilakukan dengan pola yang berbeda – beda, contohnya : kolom tunggal, *Panel*, *grids*, *blocks*. Biasanya pola *panel*, *grids*, dan *blocks* digunakan pada lereng, dam, dinding penahan tanah, dan bawah timbunan.



Gambar 2. 6 Pola penempatan kolom Perbaikan dengan metode DCM

Sumber: Kosche (2004).

Salah satu contoh dari perbaikan menggunakan *Deep Soil Mixing (DSM)* yaitu menggunakan campuran semen, dimana pada tabel dibawah menunjukkan perbaikan tanah dengan campuran semen dengan pegujian CBR mengalami peningkatan nilai CBR.

Tabel 2. 2

Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Pengujian CBR	No	Jumlah tumbukan CBR	Tanah Asli			
			Stabilisasi		Semen	
			A	B		
			0%	4%	8%	12%
Nilai	1	10 blow	4,25	4,90	6,21	9,04
CBR	2	35 blow	4,69	6,18	8,78	11,54
(%)	3	65 blow	5,31	7,52	11,51	15,32
Nilai CBR rata-rata			4,75	7,10	10,60	11,60
Prosentase Kenaikan			0	49,47	123,16	144,21
Rata-rata kenaikan			12,01%			

Sumber : Razali, 2016

Menurut Dehghanbanadaki (2013), bahan yang ditambahkan untuk memperbaiki tanah yaitu semen kemudian dicampurkan menggunakan auger, kemudian semen bereaksi dengan tanah dan air hingga menghasilkan kolom yang lebih kaku dari tanah disekitarnya.

Metode *Deep Soil Mixing* ini dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan cara basah atau kering, apabila untuk mempermudah pengerjaan bisa dilakukan dengan cara kering.

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam perbaikan *Deep Soil Mixing* ini ada beberapa hal diantaranya ada kohesi dan sudut geser tanah, dimana kedua faktor ini memengaruhi daya dukung tanah ketika sudah dilakukan perbaikan.

Untuk menentukan analisis perbandingan luas perbaikan DSM dapat dimasukkan C_{uc} dan C_{us} yang merupakan kohesi dari kolom perbaikan dan kohesi kuat tekan tanah asli, serta α adalah perbandingan luas dari tanah perbaikan. Untuk menentukan nilai kohesi ini dilakukan pengujian *unconfined* pada tanah perbaikan maupun tanah asli,

$$q_u = C_{uc} \cdot \alpha + (1-\alpha) \cdot C_{us}$$

Keterangan :

$$q_u = \text{Daya dukung tanah (Kg/cm}^2\text{)}$$

C_{uc} = Kuat tekan tanah asli (Kg/cm^2)

C_{us} = Kuat tekan kolom perbaikan (Kg/cm^2)

2.4.2 Stabilitas Mekanis

Stabilitas mekanis ini dilakukan dengan mengubah fisik tanah di lapangan, cara yang bisa dilakukan yaitu dengan pemadatan tanah (Makusa, 2012). Tanah yang distabilkan dengan cara mekanis memiliki ketahanan dan kekuatan yang lebih baik apabila diberi beban bekerja di atasnya. Dikarenakan ada hubungan serta perpindahan antara partikel tanah yang halus dan kasar. Stabilitas ini akan tercapai setelah proses pemadatan.

2.5 Uji Pembebanan

Uji pembebanan ini dilakukan untuk mengetahui perilaku tanah yang akan diuji, pengujian ini harus disesuaikan dengan kondisi di lapangan, tetapi pengujian pembebanan ini juga menyesuaikan kondisi di laboratorium.

Menurut Das (1995) pengujian beban ini digunakan untuk mengetahui daya dukung pondasi, metode tentang uji beban di lapangan telah diatur ASTM D-1194. Untuk melakukan pengujian ini, dibutuhkan *bearing plate* untuk diletakkan di atas tanah, kemudian di atasnya diberi beban. Hasil dari pengujian ini dihasilkan grafik hubungan antara penurunan dan beban.

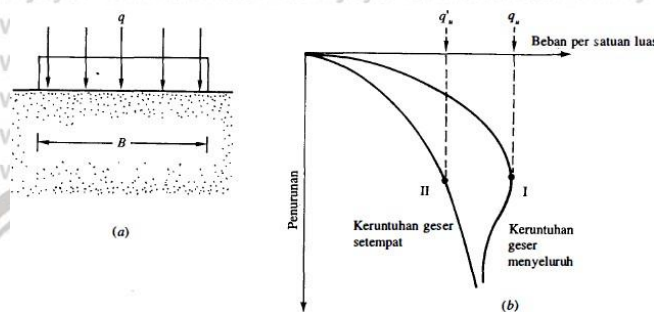
2.6 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah bisa diartikan sebagai tekanan maksimal yang bisa dikerjakan tanah, apabila menerima tekanan yang berlebih akan menyebabkan kegagalan. Kegagalan ini diartikan sebagai ketidakmampuan tanah menahan gaya geser serta meneruskan beban ke tanah. (Bowles, 1989)

Keruntuhan geser menyeluruh bisa terjadi jika beban merata (q) ditambah, maka pondasi akan ditambah juga, namun jika $q = q_u$ akan terjadi keruntuhan. Hubungan antara penurunan dan beban seperti di kurva I (gambar 2.5). jika pondasi kita seperti penjelasan

diatas ditaruh diatas tanah pasir setengah padat, hubungan antara penurunan dan beban akan seperti kurva II, jika $q = q_u$ hubungan antara penurunan dan beban akan curam dan lurus, keruntuhan ini dinamakan keruntuhan geser setempat.

Daya dukung tanah pondasi dangkal bisa dilihat dari nilai sudut geser dalam (ϕ), nilai kohesi tanah (c). Nilai ini dapat meningkat jika tanah dalam kondisi kering.



Gambar 2. 7 Daya dukung tanah untuk kondisi pondasi dangkal (a), Grafik hubungan antara beban dan penurunan (b).

Sumber : Braja M Das (1985)

Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah beban maksimal per satuan luas, tanah dapat menahan beban tanpa terjadi keruntuhan dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

Keterangan :

$$q_u = \frac{P_u}{A}$$

q_u = daya dukung maksimal

P_u = beban maksimal

A = luas pondasi

Data yang didapat dari uji pembebanan diolah untuk mendapatkan nilai daya dukung dan besarnya penurunan, setelah itu dibuat grafik daya dukung tanah yang sudah diperbaiki dengan metode DCM (*Deep Cement Mixing*) dengan kadar semen 10% dan daya dukung tanah asli.

Pengolahan data berikutnya dengan perhitungan Bearing Capacity Improvement (BCI), BCI ini merupakan perbandingan antara daya dukung tanah ketika diberi perkuatan dan daya dukung tanah asli atau tanpa perkuatan.

$$BCI = \frac{q_u}{q}$$

Keterangan :

BCI = perbandingan daya dukung tanah yang sudah diperbaiki dengan daya dukung tanah asli

q_u = daya dukung tanah yang sudah diperbaiki (kg/cm^2) q = daya dukung tanah asli (kg/cm^2)

Untuk menghitung daya dukung tanah asli digunakan rumus sebagai berikut :

$$q = -6,6 \omega + 382,9 \text{ (kPa)}$$

Dimana :

ω = kadar air dalam prosentase (Zaika, 2019)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dimulai pada September 2020 bertempat di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.2 Tahap Persiapan

Tahap persiapan yaitu rangkaian kegiatan yang dimulai dengan pengumpulan dan pengolahan data, tahap persiapan harus direncanakan dan disusun dengan baik agar penelitian ini lebih efektif untuk dilakukan. Tahap persiapan ini diantaranya :

1. Melakukan studi melalui berbagai sumber dari media elektronik, jurnal, materi perkuliahan untuk menemukan garis besar permasalahan.
2. Melakukan konsultasi dengan orang yang ahli dibidangnya, salah satunya dosen.
3. Melakukan percobaan penelitian untuk menentukan langkah – langkah penelitian.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data saat penelitian berguna untuk mengumpulkan data yang berupa data primer dan data sekunder yaitu data karakteristik tanah dari penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Berikut merupakan data Karakteristik tanah pada penelitian sebelumnya :

Tabel 3. 1

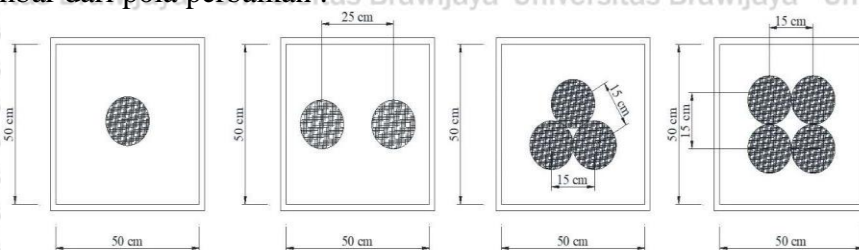
Data Karakteristik Tanah.

Parameter	Unit	Value
Liquid Limit	%	56
Plastic Limit	%	43
Shrinkage Limit	%	11
Saturated Density	kN/m ³	17,2
Coefficient of Permeability	cm/sec	0,00037
Maximum Dry Density	kN/m ³	12,5
Optimum Water Content	%	31
Coefficient Consolidation	cm ² /sec	0,001
Coefficient Compression		0,445
Water Content (Undisturbed)	%	50,5
Compressive Strength (Undisturbed)	kPa	49,4

Sumber : Fahara et.al. (2019)

3.4 Rancangan Penelitian

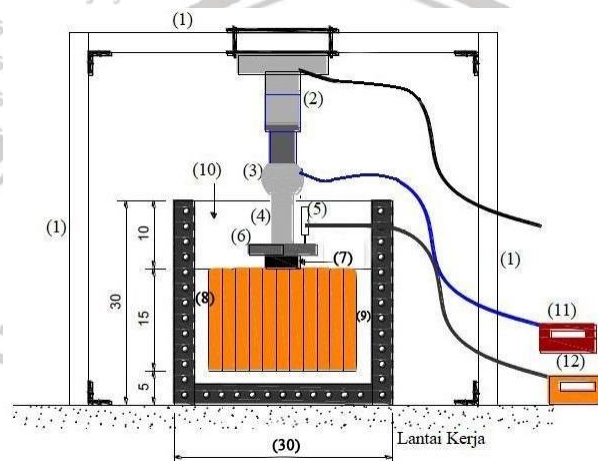
Dalam penelitian ini, benda uji dibagi beberapa model, yang membedakan model satu dengan lainnya yaitu jumlah kolom DCM dengan variasi 1, 2, 3, 4 buah kolom perbaikan atau dengan prosentase luasan perbaikan 7,29% ; 15,6% ; 21,9% ; 29,2% . Berikut adalah gambar dari pola perbaikan :



Gambar 3. 1 skema benda uji

3.5 Uji Pembebanan

Uji pembebanan ini dilakukan dengan menggunakan alat dongkrak hidrolik, nantinya akan menghasilkan tekanan dan langsung dibaca oleh LVDT untuk mengetahui seberapa besar penurunan yang terjadi saat pembebanan. Nantinya dongkrak ini dihubungkan ke piston yang dihubungkan ke *frame* yang terbuat dari baja, selanjutnya menghubungkan sel beban ke piston untuk menekan pelat dasar nantinya akan menghasilkan tegangan tanah.



Gambar 3. 2 Alat Uji Pembebanan

Keterangan :

1. Portal Baja
2. Piston Hidrolik
3. Load cell
4. Piston Besi
5. LVDT
6. Pelat silinder
7. Pelat baja
8. Kolom DCM

9. Tanah asli

10.Box berukuran 50x50x50 cm

11.Load cell reader

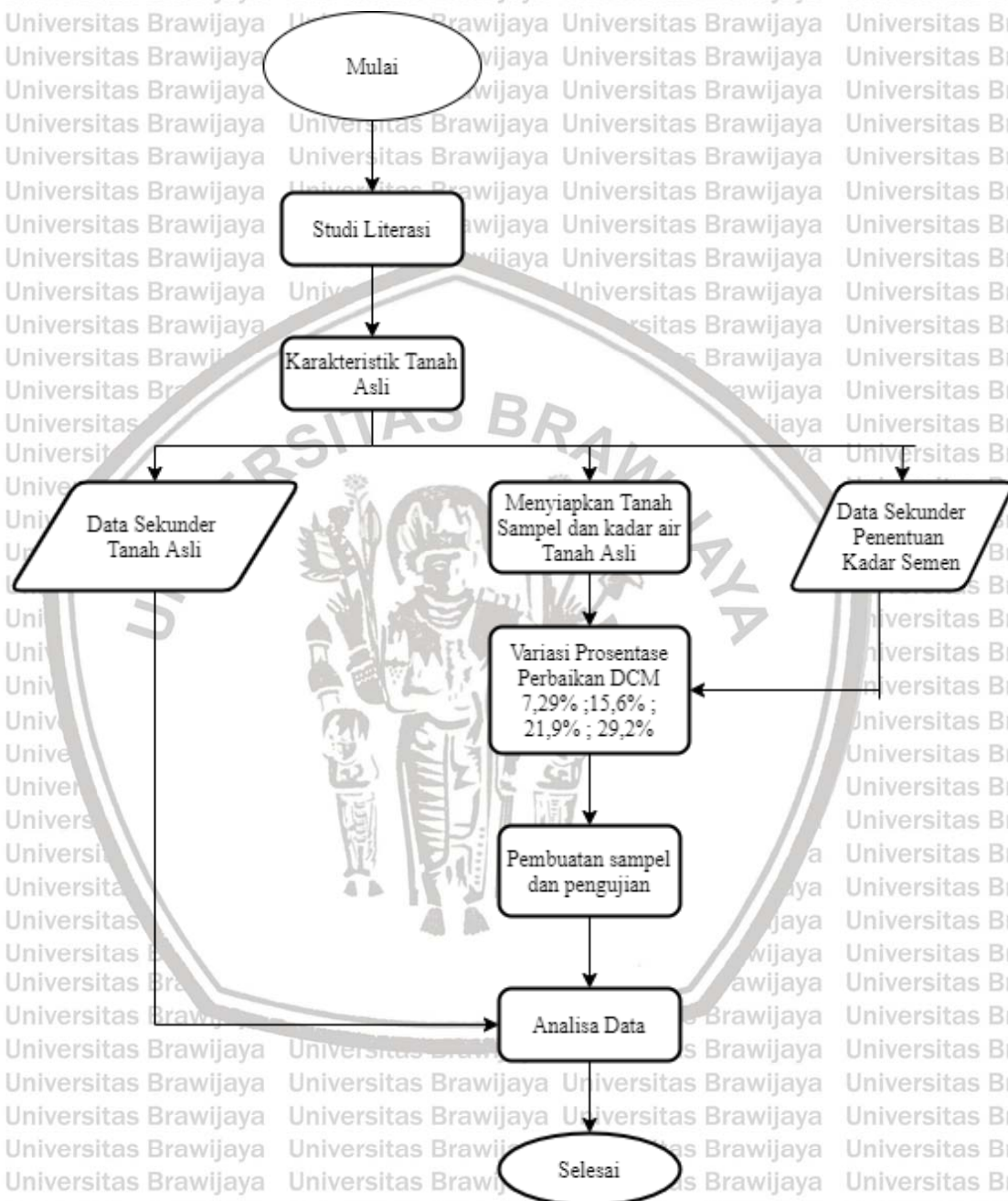
12.LVDT reader

Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan uji pembebanan :

1. Menyiapkan tanah yang sudah di oven atau dijemur dibawah terik matahari dan dihancurkan menjadi butiran kecil.
2. Tanah yang sudah dihancurkan akan diuji kadar air nya dan akan dicampurkan air hingga mencapai target 95% sampai menjadi slurry
3. Menyiapkan tanah perbaikan yang akan dicampur dengan semen dan dibiarkan setting selama 3 hari
4. Mengukur titik tengah permukaan tanah dengan menggunakan tali dan penggaris.
5. Meratakan permukaan tanah dengan menggunakan alat waterpass untuk meletakkan pelat diatas permukaan tanah tadi.
6. Menaruh pelat tepat diatas titik tengah permukaan tanah yang sudah diratakan.
7. Mempersiapkan dan memasang alat untuk uji pembebanan.
8. Melakukan uji pembebanan dengan cara memompa dongkrak hidrolik secara perlahan – lahan.
9. Melakukan pembacaan penurunan tanah di LVDT saat pengujian, pembacaan ini akan dihentikan apabila pembacaan pada beban tidak bisa naik lagi melebihi beban terakhir
10. Kemudian di dapat data besaran penurunan dan daya dukung tanah

3.6 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian akan ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian

-HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN-



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Daya Dukung Tanah Asli

Dalam analisis daya dukung tanah ini, tidak melakukan percobaan atau pengujian untuk mengetahui besaran daya dukung tanah asli dikarenakan kadar air pada tanah asli yang digunakan untuk pengujian memiliki kadar air sebesar 95% sehingga tanah tidak bisa diuji sebelum mendapat perbaikan. Untuk mengetahui daya dukung tanah asli digunakan rumus sebagai berikut :

$$q = -6,6 \omega + 382,9 \text{ (kPa)}$$

$$q = -6,6 \times 95 + 382,9$$

$$q \approx 0 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

ω = kadar air dalam prosentase (Zaika, 2019)

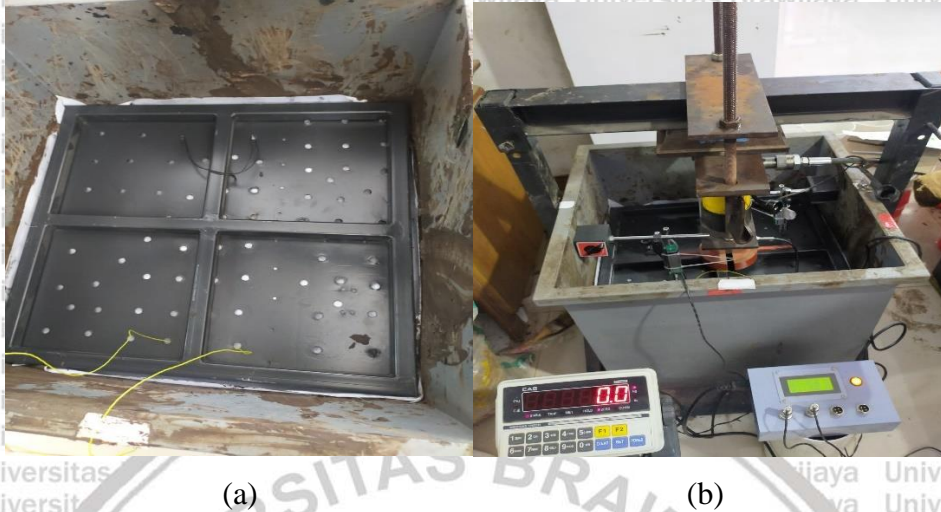
Dari hasil analisis tersebut mendapatkan nilai negatif, dapat disimpulkan kadar air yang sangat tinggi, menjadikan tekstur tanah seperti lumpur sehingga tidak memiliki kekuatan untuk menahan beban diatasnya.

4.2 Analisis Daya Dukung Tanah Perbaikan

Analisis daya dukung (q_u) bisa dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan cara analisis perbandingan luas dan uji pembebanan, untuk analisis perbandingan luas dapat dicari dengan mempertimbangkan perbandingan luas, kuat tekan tanah asli, dan kuat tekan tanah perbaikan.

Untuk mengetahui besaran perubahan daya dukung tanah setelah perbaikan, dilakukan pengujian dengan variasi prosentase perbaikan 7,29%; 15,6%; 21,9%; 29,2%.

Dengan pelat sebesar 50x50 cm di atasnya dan diberi beban secara vertikal dan dihentikan ketika sampel mengalami keruntuhan.



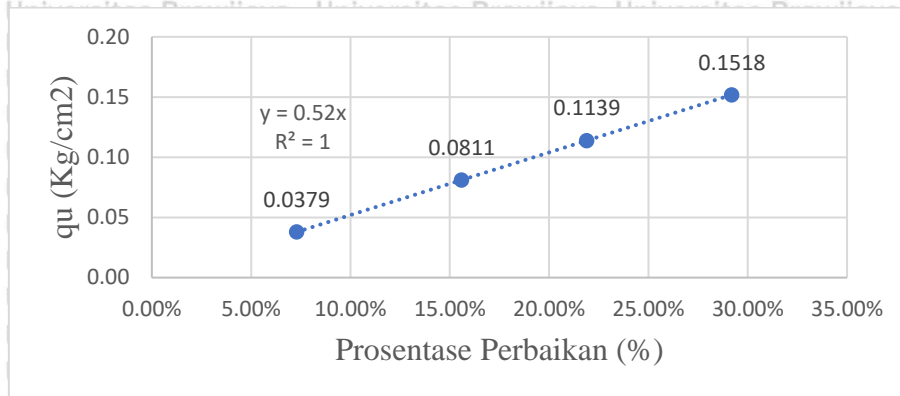
Gambar 4. 1(a) Sebelum Pembebanan (b) Setelah Pembebanan.

Tabel 4. 1

Perbandingan Prosentase perbaikan dan q_u .

Prosentase perbaikan (%)	C_{uc} (Kg/cm ²)	q_u (Kg/cm ²)
7,29%	0,52	0,0379
15,60%	0,52	0,0811
21,90%	0,52	0,1139
29,20%	0,52	0,1518

Dari hasil tabel 4.1, dapat digambarkan dalam grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Hubungan q_u dan Prosentase perbaikan.

Berdasarkan hasil analisis perbandingan luas tersebut bahwa semakin besar prosentase perbaikan maka semakin besar nilai q_u yang didapat. Dimana untuk nilai C_{uc} didapat dari percobaan *unconfined* sampel sebesar 0,52 Kg/cm². Untuk nilai C_{us} dianggap nol karena tanah asli tidak memiliki kekuatan untuk menahan beban.

4.2.1 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 7,29%

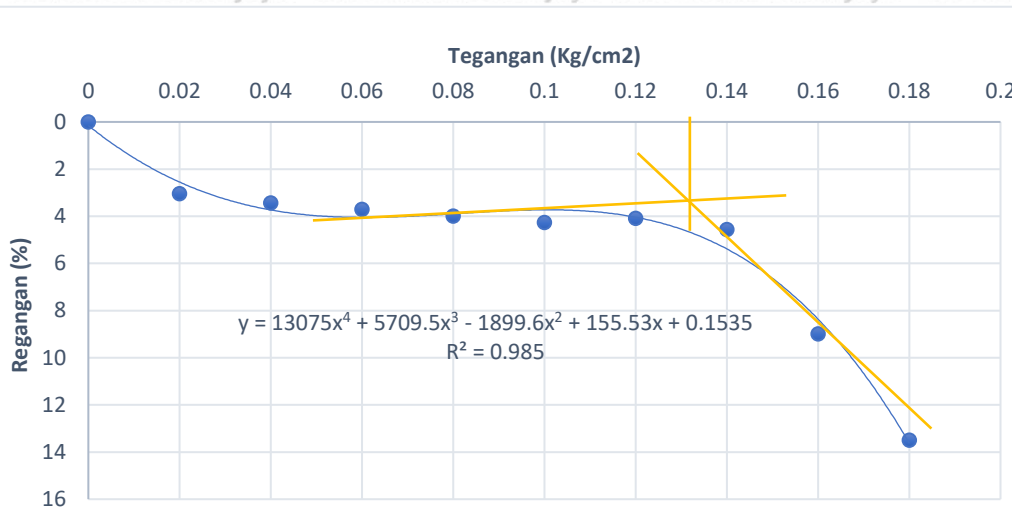
Hasil pengujian prosentase perbaikan 7,29% akan ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 4. 2

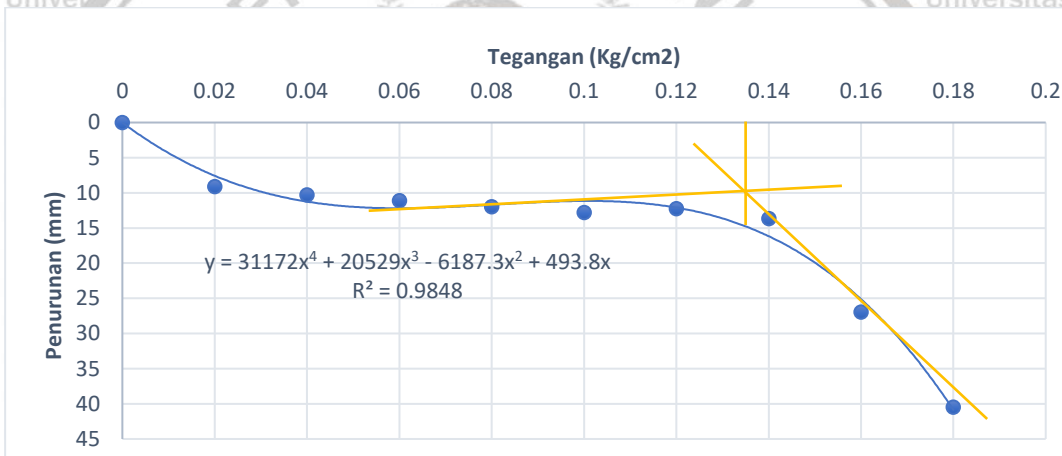
Hasil pengujian prosentase perbaikan 7,29%

Beban	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm ²)	Regangan (%)
0	50,94	0,00	0	0,000
50	41,82	9,12	0,02	3,038
100	40,63	10,30	0,04	3,435
150	39,83	11,11	0,06	3,702
200	38,96	11,98	0,08	3,992
250	38,17	12,77	0,1	4,256
300	38,67	12,26	0,12	4,087
350	37,27	13,67	0,14	4,555
400	23,99	26,94	0,16	8,981
450	10,47	40,47	0,18	13,488

Dari hasil tabel 4.2 dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 3 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 7,29%



Gambar 4. 4 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 7,29%

Dari hasil percobaan pengujian dengan prosentase 7,29% dapat diketahui bahwa nilai daya dukung tanah setelah diperbaiki masih belum dapat berpengaruh untuk stabilisasi. Tegangan maksimal saat mulai terjadi keruntuhan sebesar 0,13 Kg/cm² dan regangan sebesar 4,55%, dan mulai runtuh saat penurunan mencapai 13,67 mm. sampel perbaikan sudah mengalami keruntuhan sebelum mencapai 10% dari diameter sampel yang sebesar 15,6 mm.

4.2.2 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 15,6%

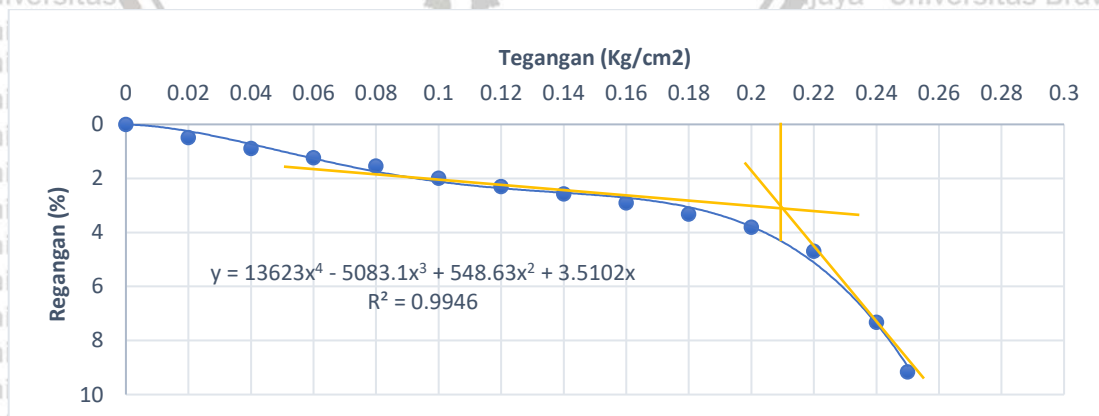
Hasil dari pengujian prosentase perbaikan 15,6% akan ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 4. 3

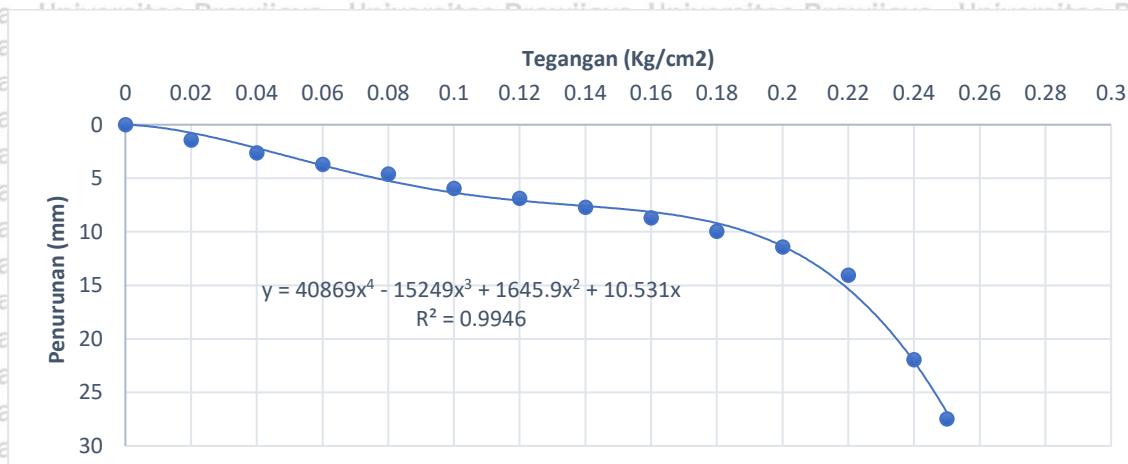
Hasil pengujian prosentase perbaikan 15,6%

Beban (Kg)	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm ²)	Regangan (%)
0	45,38	0,00	0	0,000
50	43,94	1,44	0,02	0,481
100	42,74	2,64	0,04	0,882
150	41,68	3,70	0,06	1,233
200	40,76	4,62	0,08	1,539
250	39,41	5,97	0,1	1,989
300	38,51	6,88	0,12	2,292
350	37,66	7,72	0,14	2,572
400	36,67	8,71	0,16	2,902
450	35,43	9,95	0,18	3,317
500	33,97	11,41	0,2	3,804
550	31,31	14,07	0,22	4,690
600	23,43	21,96	0,24	7,318

Dari hasil Tabel 4.3 dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 15,6%



Gambar 4. 6 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 15,6%

Dari hasil percobaan dengan prosentase perbaikan 15,6% dapat diketahui bahwa tanah perbaikan mulai mengalami keruntuhan saat penurunan 11,41 mm, dimana masih runtuh kurang dari 10% diameter kolom perbaikan yaitu 15,6 mm. Tegangan maksimal saat mulai runtuh yaitu sekitar 0,2 Kg/cm2, regangan maksimal saat mulai runtuh sekitar 4%, perbaikan dengan prosentase 15,6% ini masih belum efektif untuk stabilisasi tanah.

4.2.3 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 21,9%

Hasil dari pengujian prosentase perbaikan 21,9% akan ditampilkan sebagai berikut :

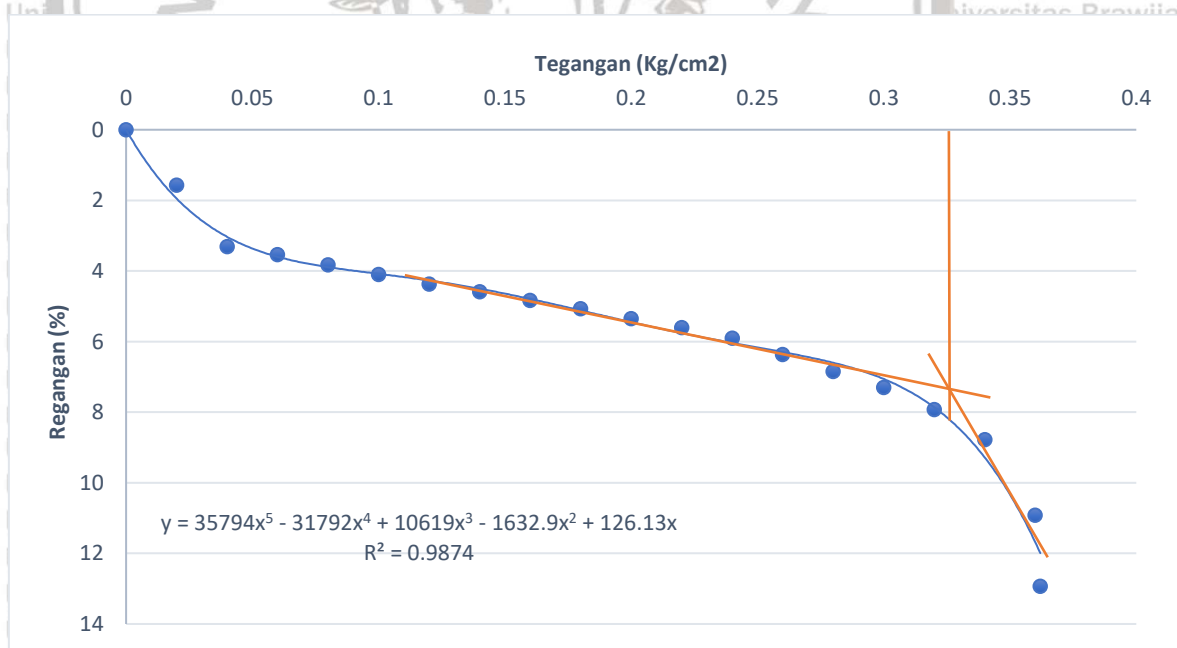
Tabel 4. 4

Hasil pengujian prosentase perbaikan 21,9%

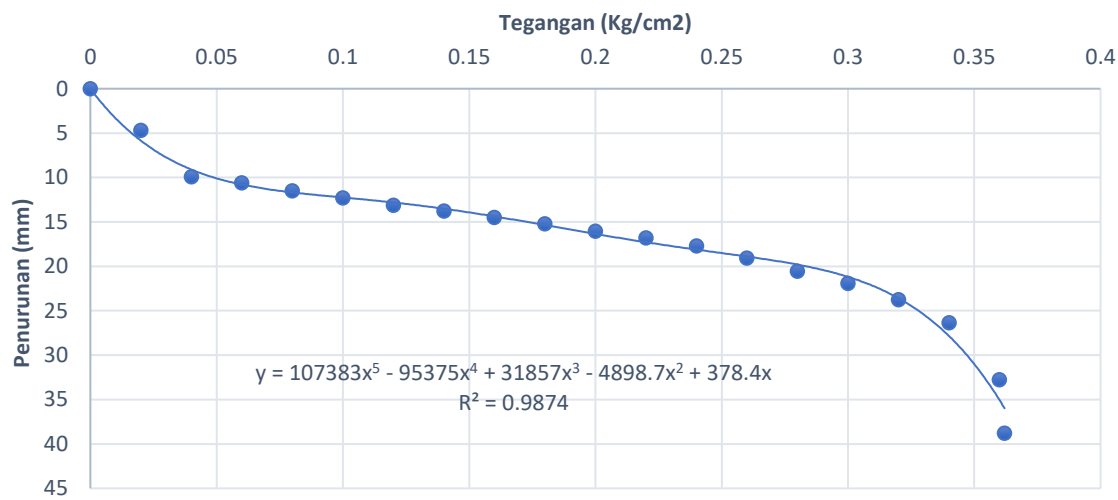
Beban (Kg)	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm2)	Regangan (%)
0	48,18	0,00	0	0,00
50	43,47	4,71	0,02	1,57
100	38,26	9,92	0,04	3,31
150	37,56	10,62	0,06	3,54
200	36,68	11,49	0,08	3,83

250	35,88	12,29	0,1	4,10
300	35,06	13,12	0,12	4,37
350	34,42	13,76	0,14	4,59
400	33,67	14,51	0,16	4,84
450	32,98	15,20	0,18	5,07
500	32,13	16,05	0,2	5,35
550	31,37	16,81	0,22	5,60
600	30,47	17,70	0,24	5,90
650	29,09	19,09	0,26	6,36
700	27,64	20,54	0,28	6,85
750	26,27	21,90	0,3	7,30
800	24,41	23,77	0,32	7,92
850	21,83	26,35	0,34	8,78
900	15,41	32,77	0,36	10,92
905	9,39	38,79	0,362	12,93

Dari hasil Tabel 4.4 dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 7 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 21,9%



Gambar 4. 8 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 21,9%

Dari hasil percobaan prosentase perbaikan 21,9% dapat disimpulkan bahwa tanah yang telah diperbaiki mulai mengalami keruntuhan saat tegangan 0,33 Kg/cm2, dan regangan sekitar 8%. Perbaikan dengan prosentase ini lebih efektif karena mengalami keruntuhan saat penurunan 26,35 mm, diatas 10% diameter tanah perbaikan yaitu 15,6mm.

4.2.4 Analisis Daya Dukung Tanah Prosentase Perbaikan 29,2%

Hasil dari pengujian prosentase perbaikan 29,2% akan ditampilkan sebagai berikut :

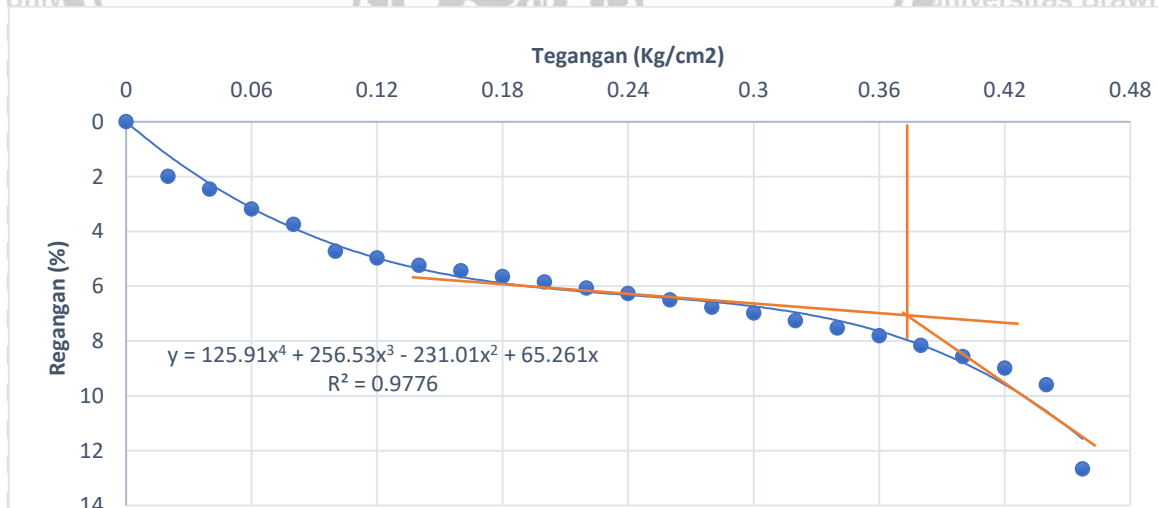
Tabel 4. 5

Hasil pengujian prosentase perbaikan 29,2%

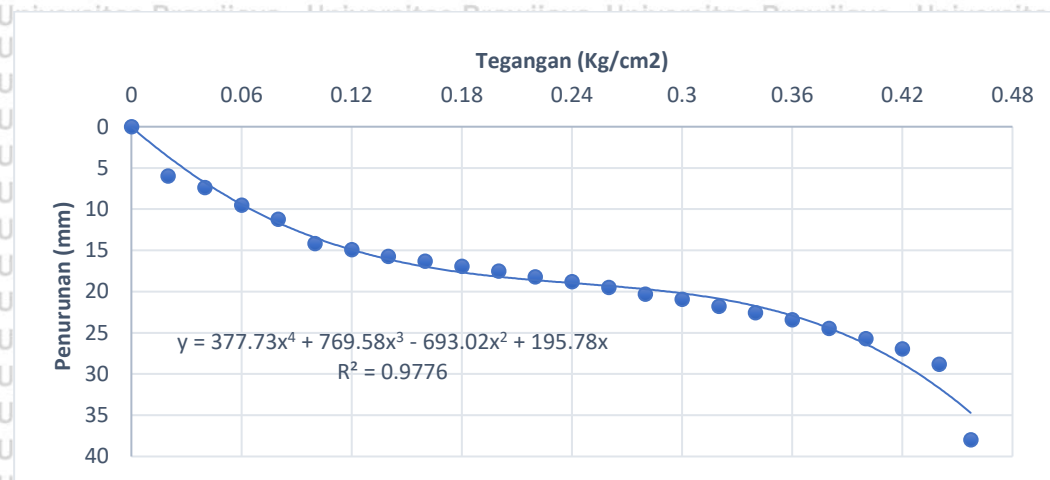
Beban (Kg)	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm2)	Regangan (%)
0	55,06	0,00	0	0,00
50	49,07	5,99	0,02	2,00
100	47,69	7,37	0,04	2,46
150	45,53	9,53	0,06	3,18
200	43,82	11,25	0,08	3,75
250	40,87	14,19	0,1	4,73

300	40,14	14,92	0,12	4,97
350	39,34	15,72	0,14	5,24
400	38,76	16,31	0,16	5,44
450	38,13	16,93	0,18	5,64
500	37,53	17,53	0,2	5,84
550	36,86	18,20	0,22	6,07
600	36,26	18,80	0,24	6,27
650	35,57	19,49	0,26	6,50
700	34,74	20,32	0,28	6,77
750	34,11	20,95	0,3	6,98
800	33,28	21,78	0,32	7,26
850	32,48	22,58	0,34	7,53
900	31,64	23,42	0,36	7,81
950	30,58	24,48	0,38	8,16
1000	29,37	25,69	0,4	8,56
1050	28,09	26,97	0,42	8,99
1100	26,26	28,80	0,44	9,60
1143	17,07	38,00	0,46	12,67

Dari hasil Tabel 4.5 dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 9 Hubungan Tegangan dan Regangan Prosentase Perbaikan 29,2%



Gambar 4. 10 Hubungan penurunan dan tegangan prosentase perbaikan 29,2%

Dari hasil percobaan dengan prosentase perbaikan 29,2% bahwa sampel mulai mengalami keruntuhan saat penurunan sebesar 28,8 mm dimana tegangan yang terjadi sekitar 0,37 Kg/cm² dan regangan sekitar 8%. Perbaikan dengan prosentase ini sangat efektif karena bisa menahan beban yang paling besar diantara prosentase perbaikan sebelumnya.

4.3 Analisis Prosentase Perbaikan dan Tegangan serta *Bearing Capacity*

Improvement (BCI)

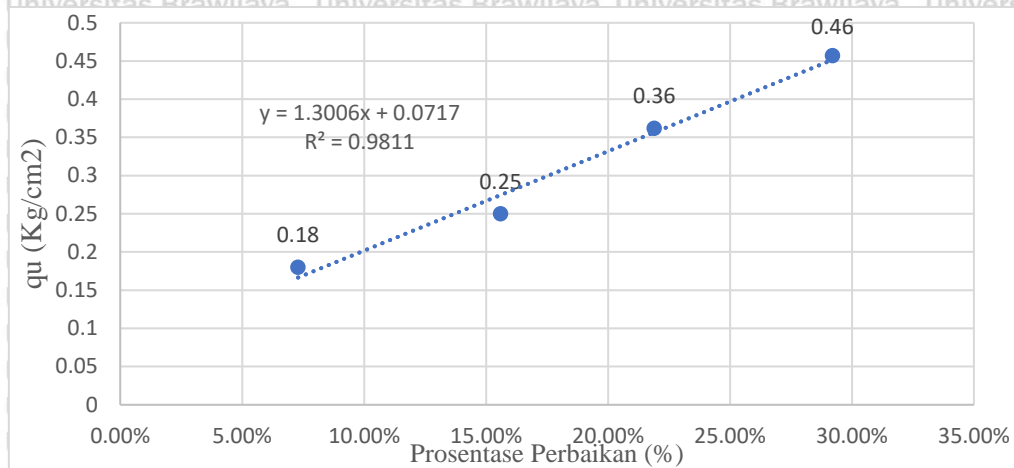
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang terjadi di setiap prosentase perbaikan. Untuk sebagai acuan, digunakan prosentase perbaikan 7,29% karena tanah asli tidak memiliki kekuatan. Hasil pengujian akan ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 4. 6

Perbandingan antara Prosentase Perbaikan, tegangan, dan daya dukung tanah.

Prosentase Perbaikan	qu (Kg/cm ²)	BCI (%)
7,29%	0,18	0
15,60%	0,25	38,89
21,90%	0,36	101,11
29,20%	0,46	154

Dari hasil tabel 4.6 dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut :

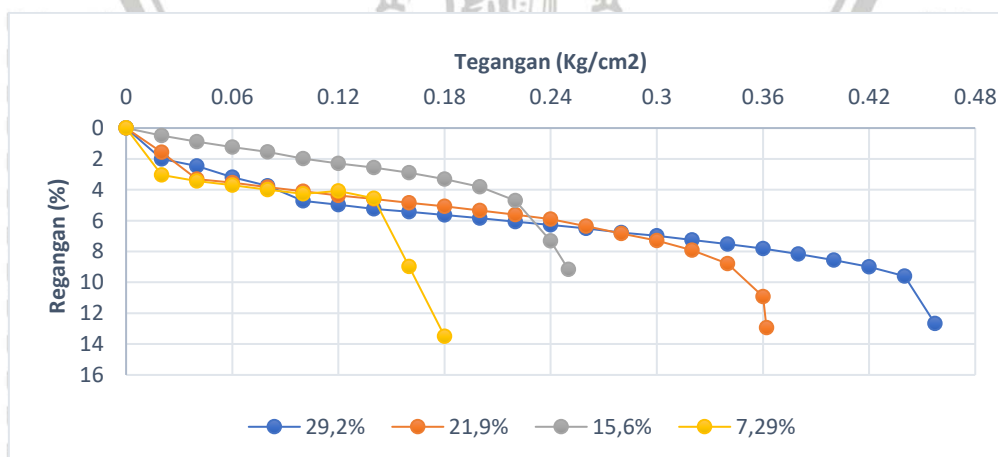


Gambar 4. 11 Hubungan Prosentase Perbaikan dan Tegangan Maksimum Tiap Prosentase Perbaikan.

Dari hasil perhitungan BCI tersebut bahwa setiap percobaan dengan prosentase lebih besar, tegangan yang terjadi semakin besar dimana yang awalnya sebesar 0,18 hingga 0,46 Kg/cm2. Dan nilai BCI juga mengalami peningkatan hingga yang paling besar yaitu 154%.

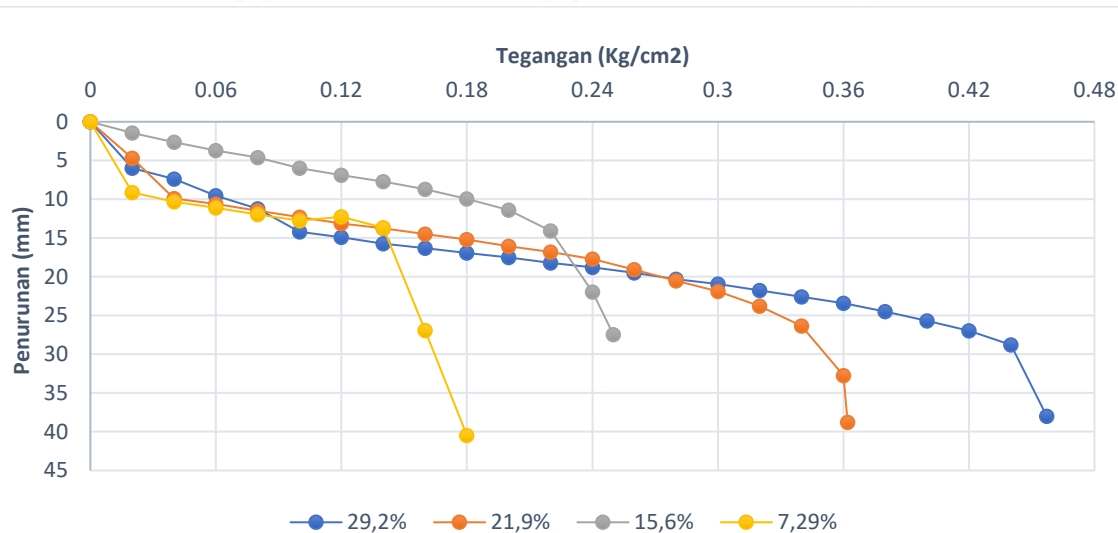
4.4 Analisis Hubungan Tegangan dan Regangan & Penurunan dan Tegangan

Dari percobaan beberapa kali dengan variasi prosentase perbaikan yang berbeda, didapatkan grafik hubungan antara tegangan dan regangan sebagai berikut :



Gambar 4. 12 Hubungan Tegangan dan Regangan.

Dari Gambar 4.12 dapat disimpulkan bahwa tiap kenaikan prosentase perbaikan mengalami kenaikan tegangan dimana tegangan paling maksimal saat mulai keruntuhan yaitu 0,47 Kg/cm² yaitu pada prosentase perbaikan 29,2% dan regangan maksimal sekitar 8% saat mulai runtuh.



Gambar 4. 13 Hubungan Penurunan dan Tegangan.

Dari gambar 4.13 dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan prosentase perbaikan mengalami titik keruntuhan yang berbeda dan mengalami peningkatan, seperti saat prosentase perbaikan 7,29% dimana mulai runtuh saat tegangan 0,13 Kg/cm² dan penurunan 13,67 mm. Dibandingkan prosentase perbaikan 29,2% yang mulai runtuh saat tegangan 0,37 Kg/cm² dan penurunan 28,8 mm. Jauh lebih efektif daripada prosentase perbaikan 7,29%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil dari penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan penurunan yang terjadi setiap kenaikan prosentase perbaikan mengalami peningkatan kekuatan tanah dimana saat perbaikan dengan prosentase 7,29% saat tegangan 0,18 Kg/cm² mengalami penurunan sebesar 40,47mm, sedangkan dengan prosentase perbaikan 29,2% saat tegangan 0,18 Kg/cm² mengalami penurunan sebesar 16,93 mm.
2. Daya dukung tanah setiap prosentase perbaikan mengalami peningkatan BCI dimana nilai BCI saat prosentase perbaikan 7,29% adalah 0, sedangkan nilai BCI pada prosentase perbaikan 29,2% adalah 154%.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian ini, adapun saran-saran yang bisa digunakan untuk mengembangkan penelitian *Deep Soil Mixing* pada waktu mendatang, saran yang diberikan antara lain :

1. Perlu digunakan alat untuk mengaduk yang lebih efektif agar dapat menghasilkan campuran yang homogen.
2. Perlu menggunakan ekstruder khusus agar mengeluarkan sampel dari cetakan hasilnya lebih sempurna dan tidak terjadi kecacatan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph. (1984). *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Edisi Kedua Erlangga.
- Bowles, Joseph. (1986). *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja.M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta:Erlangga.
- Das, Braja M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering (Sixth Edition)*. Kanada: Thomson.
- Dehghanbanadaki, A., Ali, N., Ahmad, K., Khari, M., Alimohammadi, P., Latifi, N. (2013). *Stabilization of Soils with Deep Mixed Soil Columns – General Perspective. Electronic Journal of Geotechnical Engineers.EJGE*, Vol. 18.
- Fahara A, Safira N, Darmawan W.(2019). *The Effect Of Cement To Develop Strength Of Grati Soft Soil*. Malang: Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
- Hardiyatmo, H.C. (1992). *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Kosche, Mirja. (2004). *A Laboratory Model Study on The Transition Zone and The Boundary layer Around Lime-Cement Columns in Kaolin Clay. Msc Thesis Division of Soil and Rock Mechanics*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Mawardi, Makmun, R., Razali, Olandri, W. (2016). *Nilai CBR Pada Stabilisasi Tanah dengan Semen Jalan Budi Utomo UNIB Depan*. Universitas Bengkulu.
- Mustahfid, A. (2018). *Pengaruh Volume Perbaikan Tanah Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lunak Dengan Campuran Kapur, Semen, Dan Flyash (Proyek Tol Gempol-Pasuruan)*. Malang: Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Terzaghi, K and Peck, R. (1967). *Soil Mechanics In Engineering Practice*.

New York : 2nd Edition , John Wiley

Umar Abdulloh, Setiawan, B., Dananjaya, H. (2017). *Soil Cement Mixing Column*

Sebagai Perkuatan Pada Tanah Dasar Lunak. Surakarta: Skripsi Program Studi

Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.

Ukiman, Wibowo, H., Suwarno, A., Subakti, A., Suhartono, E. (2017). *Karakteristik*

Campuran Tanah Dan Semen Yang Dipadatkan Pada Berbagai Campuran Sebagai

Upaya Perbaikan Lapisan Tapak Pondasi Dangkal Dengan Uji Sondir. Semarang:

Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.

Zaika, Y., Rachmansyah, A., Harimurti. (2019). *Geotechnical Behaviour of Soft Soil in*

East Java, Indonesia. Malang: University of Brawijaya.



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN-





LAMPIRAN I
DATA HASIL PENGUJIAN PEMBEBANAN

Tabel L 1.1 Beban dan Pembacaan LVDT Prosentase Perbaikan 7,29%

No.	Beban (kg)	Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
		Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	53,1	48,77	53,10	48,77
		53,1	48,77		
		53,1	48,77		
		51,72	46,5		
2	25	51,6	46,36	51,64	46,41
		51,6	46,36		
		44,6	39,13		
		44,52	39,1		
3	50	44,47	39,1	44,53	39,11
		44	44		
		44	44		
		43,43	37,88		
4	75	43,381	37,88	43,38	37,88
		43,34	37,87		
		42,94	37,54		
		42,9	37,54		
5	100	42,85	37,54	42,90	37,54
		42,45	37,28		
		42,36	37,27		
		42,36	37,26		
6	125	41,82	36,97	42,39	37,27
		41,77	36,95		
		41,74	36,95		
		41,31	36,64		
7	150	41,28	36,63	41,78	36,96
		41,27	36,62		
		40,97	36,38		
		40,94	36,38		
8	175	40,94	36,38	40,94	36,38
		40,94	36,38		
		40,94	36,38		
		40,94	36,38		
9	200	40,94	36,38	40,94	36,38
		40,94	36,38		
		40,94	36,38		
		40,94	36,38		
10	225	40,94	36,38	40,94	36,38
		40,94	36,38		
		40,94	36,38		
		40,94	36,38		

			40,94	36,38			
			40,921	36,37			
			40,42	35,95			
	11	250	40,39	35,93	40,40	35,94	12,70 12,83
			40,38	35,94			
			40,04	35,88			
	12	275	40	35,88	40,00	35,88	13,10 12,89
			39,97	35,88			
			39,42	37,99			
	13	300	39,38	37,94	39,39	37,95	13,71 10,82
			39,38	37,93			
			38,91	37,56			
	14	325	38,87	37,52	38,88	37,52	14,22 11,25
			38,86	37,49			
			38,07	36,6			
	15	350	38,02	36,53	38,02	36,52	15,08 12,25
			37,96	36,44			
			34,67	33,45			
	16	375	34,55	33,35	34,58	33,37	18,52 15,40
			34,53	33,3			
			28,1	20			
	17	400	28,04	19,92	28,05	19,94	25,05 28,83
			28	19,89			
			23,52	11,4			
	18	425	23,44	11,3	23,46	11,31	29,64 37,46
			23,43	11,24			
			19,45	1,6			
	19	450	19,37	1,4	19,39	1,55	33,71 47,22
			19,35	1,65			

Tabel L 1.2 Beban dan Pembacaan LVDT Prosentase Perbaikan 15,6%

No.	Beban (kg)	Penurunan (mm)		Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
		Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	44,79	45,97				
		44,79	45,97	44,79	45,97	0,00	0,00
2	25	44,79	45,97				
		44,62	45,46	44,62	45,44	0,17	0,53

		44,62	45,44				
		44,62	45,43				
		43,23	44,67				
3	50	43,2	44,67	43,20	44,67	1,59	1,30
		43,18	44,67				
		42,3	44,45				
4	75	42,24	44,45	42,26	44,45	2,53	1,52
		42,24	44,45				
		41,25	44,26				
5	100	41,18	44,27	41,20	44,27	3,59	1,70
		41,18	44,27				
		40,14	44,1				
6	125	40,07	44,11	40,08	44,11	4,71	1,86
		40,03	44,11				
		39,45	43,95				
7	150	39,41	43,95	39,41	43,95	5,38	2,02
		39,38	43,95				
		38,73	43,8				
8	175	38,68	43,8	38,69	43,80	6,10	2,17
		38,65	43,8				
		37,92	43,66				
9	200	37,85	43,66	37,86	43,66	6,93	2,31
		37,81	43,67				
		37,36	43,37				
10	225	37,33	43,34	37,34	43,35	7,45	2,62
		37,32	43,34				
		36,72	42,11				
11	250	36,73	42,1	36,73	42,10	8,06	3,87
		36,73	42,08				
		36,24	41,7				
12	275	36,23	41,69	36,23	41,69	8,56	4,28
		36,21	41,68				
		35,65	41,4				
13	300	35,6	41,4	35,61	41,40	9,18	4,57
		35,58	41,4				
		34,93	41,08				
14	325	34,9	41,09	34,90	41,09	9,89	4,88
		34,88	41,09				
15	350	34,5	40,86	34,47	40,86	10,32	5,11

16	375	33,94	40,49	33,95	40,49	10,84	5,48
		33,93	40,49				
		33,34	40,05				
17	400	33,28	40,05	33,30	40,05	11,49	5,92
		33,27	40,05				
		32,47	39,47				
18	425	32,43	39,57	32,43	39,54	12,36	6,43
		32,4	39,57				
		31,71	39,2				
19	450	31,65	39,2	31,66	39,20	13,13	6,77
		31,61	39,2				
		30,64	38,68				
20	475	30,6	38,69	30,61	38,69	14,18	7,28
		30,58	38,69				
		29,69	38,29				
21	500	29,64	38,29	29,64	38,29	15,15	7,68
		29,6	38,3				
		26,72	37,49				
22	525	26,64	37,49	26,65	37,49	18,14	8,48
		26,6	37,5				
		25,6	37,1				
23	550	25,45	37,16	25,48	37,14	19,31	8,83
		25,39	37,16				
		18,36	35,3				
24	575	18,09	35,52	18,16	35,39	26,63	10,58
		18,03	35,34				
		13	34,44				
25	600	12,13	34,45	12,40	34,45	32,39	11,52
		12,08	34,45				
		3,06	32,81				
26	625	3,03	32,78	3,03	32,79	41,76	13,18
		3,01	32,79				

Tabel L 1.3 Beban dan Pembacaan LVDT Prosentase Perbaikan 21,9%

No.	Beban (kg)	Pembacaan LVDT (mm)		Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
		Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	49,28	47,07	49,28	47,07	0,00	0,00
		49,28	47,07				
		49,28	47,07				
2	50	44,38	42,59	44,33	42,61	4,95	4,46
		44,3	42,65				
		44,3	42,59				
3	100	38,85	37,68	38,85	37,67	10,43	9,40
		38,84	37,66				
		38,85	37,66				
4	150	38,04	37,08	38,04	37,08	11,24	9,99
		38,04	37,08				
		38,04	37,08				
5	200	36,96	36,43	36,94	36,42	12,34	10,65
		36,93	36,42				
		36,93	36,42				
6	250	36,04	35,74	36,03	35,74	13,25	11,33
		36,02	35,74				
		36,02	35,74				
7	300	35,11	35,02	35,10	35,02	14,18	12,05
		35,1	35,02				
		35,08	35,02				
8	350	34,43	34,4	34,43	34,40	14,85	12,67
		34,43	34,4				
		34,43	34,4				
9	400	33,65	33,7	33,64	33,70	15,64	13,37
		33,64	33,7				
		33,63	33,7				
10	450	32,86	33,12	32,82	33,13	16,46	13,94
		32,8	33,13				
		32,81	33,14				
11	500	31,81	32,46	31,79	32,47	17,49	14,60
		31,79	32,47				
		31,77	32,48				
12	550	30,81	31,96	30,77	31,96	18,51	15,11
		30,76	31,96				
		30,75	31,96				

13	600	29,6	31,37	29,57	31,37	29,57	31,38	19,71	15,69
		29,53	31,39						
14	650	27,85	30,36						
		27,81	30,36	27,82		30,36		21,46	16,71
		27,79	30,36						
		26,14	29,18						
15	700	26,07	29,18	26,09		29,18		23,19	17,89
		26,07	29,18						
		24,53	28,04						
16	750	24,52	28,01	24,52		28,02		24,76	19,05
		24,52	28,01						
		22,44	26,41						
17	800	22,41	26,39	22,42		26,39		26,86	20,68
		22,41	26,38						
		19,62	24,09						
18	850	19,59	24,06	19,60		24,06		29,68	23,01
		19,58	24,04						
		12,76	18,08						
19	900	12,74	18,08	12,74		18,08		36,54	28,99
		12,73	18,07						
		6,37	12,43						
20	905	6,36	12,42	6,36		12,42		42,92	34,65
		6,36	12,4						

Tabel L 1.4 Beban dan Pembacaan LVDT Prosentase Perbaikan 29,2% %

No.	Beban (kg)	Pembacaan LVDT (mm)		Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
		Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	55,06	55,06				
		55,06	55,06	55,06	55,06	0,00	0,00
		55,06	55,06				
		50,12	48,04				
2	50	50,12	48,02	50,12	48,03	4,94	7,03
		50,12	48,02				
		48,58	45,83				
		48,56	45,82	48,57	46,82	6,49	8,24
3	100	48,56	48,8				



		47,2	43,88			
4	150	47,2	43,85	47,20	43,85	7,86 11,21
		47,2	43,83			
		45,41	42,23			
5	200	45,41	42,23	45,41	42,22	9,65 12,84
		45,4	42,21			
		41,91	39,85			
6	250	41,91	39,83	41,91	39,83	13,15 15,23
		41,91	39,81			
		41,23	39,07			
7	300	41,22	39,06	41,22	39,06	13,84 16,00
		41,22	39,05			
		40,48	38,21			
8	350	40,46	38,21	40,46	38,21	14,60 16,85
		40,45	38,21			
		39,95	37,59			
9	400	39,92	37,58	39,93	37,58	15,13 17,48
		39,91	37,58			
		39,34	36,93			
10	450	39,33	36,93	39,33	36,93	15,73 18,13
		39,33	36,92			
		38,77	36,32			
11	500	38,75	36,31	38,75	36,31	16,31 18,75
		38,74	36,31			
		38,12	35,63			
12	550	38,08	35,63	38,09	35,63	16,97 19,43
		38,07	35,62			
		37,53	35,01			
13	600	37,51	35	37,51	35,00	17,55 20,06
		37,5	35			
		36,84	34,34			
14	650	36,81	34,33	36,81	34,33	18,25 20,73
		36,79	34,32			
		35,96	33,58			
15	700	35,9	33,57	35,91	33,57	19,15 21,49
		35,87	33,57			
		35,27	33,02			
16	750	35,2	33	35,22	33,01	19,84 22,05
		35,18	33,01			

17	800	34,29	32,33	34,23	32,33	34,24	32,33	20,82	22,73
18	850	34,2	32,32	33,29	31,69	33,27	31,69	21,79	23,37
19	900	33,26	31,69	33,25	31,69	32,33	31,02	22,79	24,05
20	950	32,33	31,02	32,26	31,01	32,27	31,01	24,12	24,83
21	1000	32,22	31,01	31,02	30,23	30,91	30,23	24,12	24,83
22	1050	30,91	30,23	30,88	30,23	29,32	29,38	25,70	25,68
23	1100	29,32	29,38	29,39	29,38	29,36	29,38	27,37	26,56
24	1143	29,36	29,38	27,8	28,5	27,65	28,5	27,37	26,56
		27,61	28,5	25,26	27,17	27,69	28,50	27,37	26,56
		25,13	27,16	25,68	27,14	25,36	27,16	29,70	27,90
		14,43	19,83	14,29	19,8	14,32	19,81	40,74	35,25
		14,25	19,79						

Tabel L 1.5 Uji Kadar Air 7,29%

Container no. (cup)		1	2	3
Mass of cup + wet soil	gram	21,89	7,27	16,59
Mass of cup + dry soil	gram	15,52	5,23	10,5
Mass of cup	gram	8,33	3	4,26
Mass of dry soil, Ms	gram	7,19	2,23	6,24
Mass of water, Mw	gram	6,37	2,04	6,09
Water content, w %	%	88,60	91,48	97,60
WC Average, %	%		92,56	

Tabel L 1.6 Uji Kadar Air 15,6%

Container no. (cup)		1	2	3
Mass of cup + wet soil	gram	14,47	11,66	16,9

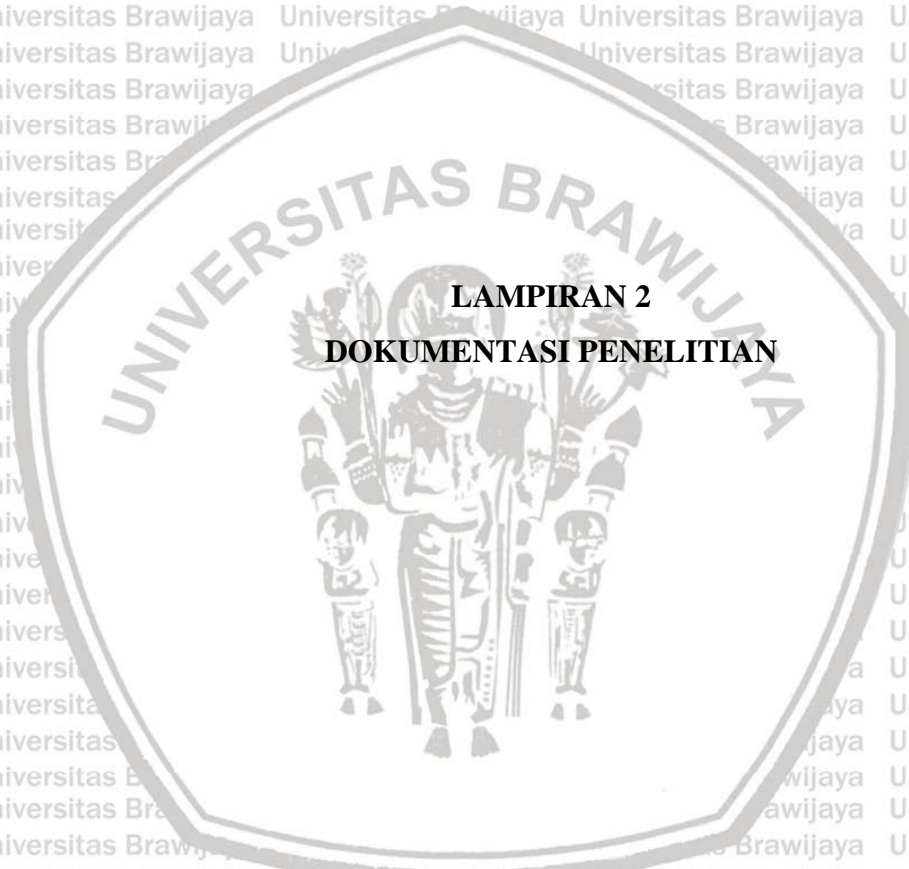
Mass of cup + dry soil	gram	9,7	7,58	11,42
Mass of cup	gram	4,22	3	6,08
Mass of dry soil, Ms	gram	5,48	4,58	5,34
Mass of water, Mw	gram	4,77	4,08	5,48
Water content, w %	%	87,04	89,08	102,62
WC Average, %	%		92,92	

Tabel L 1.7 Uji Kadar Air 21,9%

Container no. (cup)		1	2	3
Mass of cup + wet soil	gram	24,37	11,71	44,15
Mass of cup + dry soil	gram	14,27	8,22	25,66
Mass of cup	gram	2,87	4,26	4,35
Mass of dry soil, Ms	gram	11,4	3,96	21,31
Mass of water, Mw	gram	10,1	3,49	18,49
Water content, w %	%	88,60	88,13	86,77
WC Average, %	%		87,83	

Tabel L 1.8 Uji Kadar Air 29,2%

Container no. (cup)		1	2	3
Mass of cup + wet soil	gram	24,13	25,2	17,64
Mass of cup + dry soil	gram	15,02	14,66	10,72
Mass of cup	gram	3,96	2,94	3,08
Mass of dry soil, Ms	gram	11,06	11,72	7,64
Mass of water, Mw	gram	9,11	10,54	6,92
Water content, w %	%	82,37	89,93	90,58
WC Average, %	%		87,63	



LAMPIRAN 2
DOKUMENTASI PENELITIAN

Gambar L 1.1 Persiapan Pengujian



(a)



(b)



(c)

Gambar L 1.2 Pengujian Dengan Prosentase Perbaikan 7,29%



(a)



(b)



(c)

Gambar L 1.3 Pengujian Dengan Prosentase Perbaikan 15,6%



Gambar L 1.4 Pengujian Dengan Prosentase Perbaikan 21,9%





(c)

Gambar L 1.5 Pengujian Dengan Prosentase Perbaikan 29,2%



(a)

(b)



(c)



(d)



